



Produktivitet vid selektiv mekaniserad bioenergiröjning av eftersatta röjningsbestånd

*Productivity on selective mechanized bio-energy
thinning of dense, young stands*



Arbetsrapport 166 2007
Examensarbete 20p D

Handledare:
Tomas Nordfjell

**Produktivitet vid selektiv mekaniserad bioenergiröjning
av eftersatta röjningsbestånd**

*Productivity on selective mechanized bio-energy
thinning of dense, young stands*



av
Back Tomas Ersson

Handledare: Tomas Nordfjell

FÖRORD

Detta arbete är utfört som ett 20 poängs examensarbete vid institutionen för Skoglig Resurshushållning, avdelningen Planering och Teknologi på Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Syftet med examensarbetet är dels att den studerande skall tillämpa de kunskaper och färdigheter som förvärvats under studietiden, dels att självständigt planera och genomföra ett projekt.

Först och främst vill jag tacka entreprenören Håkan Larsson som under ett helt år har tålamodigt svarat på mina frågor och var väldigt tillmötesgående under fältstudieveckan. Ett stort tack vill jag också rikta till kompetenschefen Mats Ericsson vid Stora Enso Skog som finansierade fältstudien. Tacka vill jag också min handledare Tomas Nordfjell för rådgivningen, hela skogsteknikavdelningen för deras samlade kunskaper som jag har dragit nytta av, samt Johannes Nilsson vid Vimek AB för visat intresse och ett givande studiebesök. Slutligen är jag evigt tacksam familjen Skoog för deras gästfrihet och goda matlagning under fältstudietiden.

Umeå den sista december 2006.

SAMMANFATTNING

Att skörda röstammarna för bioenergiändamål är ett intressant sätt att finansiera röjningen av eftersatta röjningsbestånd då täta och höga ungskogsbestånd fördyrar den motormanuella röjningen. Detta koncept namnges här ”bioenergiröjning”.

Syftet med denna studie var att tidsstudera en bioenergiröjande Vimek 404R med ett ackumulerande Naarva-Gripaggregat i ett tätt blandskogsbestånd väster om Sunnansjö i Dalarna. Beståndet var självföryngrat och hade ett stamantal på 15 371 st/ha. Den grundtyevägda medel brösthöjdsdiameter och medelhöjd före åtgärd var 4,6 cm respektive 7 m. Trots att föraren var van med maskinen var detta det första bestånd som han bioenergiröjde på detta sätt.

I medeltal skördades totalt ca 56 ton TS/ha och tidsåtgången vid bioenergiröjningen var ca 57 G₀-tim/ha, vilket motsvarade en produktion på 0,98 ton TS/G₀-tim. Vimekskördaren producerade i medeltal 232 avverkade stammar per G₀-tim. Uttagets medeldiameter var densamma som hela beståndets. Utformningen av studiens parceller utgjorde ett hinder för ett produktivt arbetssätt och medförde bl.a. att ca 25 % av de i medeltal 2 310 kvarvarande stammarna per ha skadades vid bioenergiröjningen.

Trots den stora biomassamängden per ha beräknades skörd och uttransport av röstammarna med maskinsystemet kosta nästan åtta gånger mer än endast motormanuell röjning. Men med ett mer geometriskt kran- och körmönster, en skördare med starkare hydraulik och ev. en motormanuell förröjning av de klenaste stammarna (<2,5 cm) torde bioenergiröjning inom en snar framtid kunna bli konkurrenskraftigt med motormanuell röjning i liknande bestånd.

SUMMARY

In Sweden, harvesting pre-commercial thinning (PCT) stems for energy purposes is a interesting way of financing the high cost of preparing dense stands for a profitable first conventional thinning. This concept can be labelled bioenergy thinning.

The aim of this study was to quantify the productivity of a Vimek 404R light harvester with an accumulating Naarva-Grip cutting head during the bioenergy thinning of a self-regenerated stand west of Sunnansjö in Dalarna. The stand was birch-dominated, contained 15 371 stems/ha, and measured on average 4,6 cm Dbh and 7 m tall. Even though the driver was well experienced with the machine, the stand in question was the first one that he ever thinned in this manner. Nevertheless, the driver strived to accumulate as many stems as possible during each crane cycle and chose to cut taller stems in half so as to make the handling and forwarding of the harvested stems easier.

On average, the Vimek harvester required ca 57 effective hours per ha to harvest ca 56 ton dry matter (DM) per ha. Thus, the mean productivity measured 0,98 ton DM per effective hour, or expressed in other terms, 232 harvested stems per effective hour. The average Dbh of the harvested stems was 4,58 cm. Since there was between parcels only a small variation in stand characteristics, no statistical trend could be identified between productivity and mean height, mean Dbh and stem density. After the bioenergy thinning, there were on average 2 310 (mainly spruce) stems/ha left standing and ca 25 % of those stems was injured in some way. This high injury frequency was partly due to the form of the parcels as their form hindered an efficient work pattern, which also undoubtedly leads to a higher time requirement and lower productivity in general.

In spite of the high biomass content of the unthinned stand, the net cost of harvesting (felling-bunching) the juvenile stems with the Vimek 404R (with measured productivity) and then forwarding them to roadside with a Vimek 606 was very high. The machine system was calculated to cost almost eight times more per ha than if the same stand was PCT motor manually without harvesting the stems. However, the following could help to improve the productivity and make the concept more competitive compared with motor manual PCT: geometrical driving and crane patterns; stronger hydraulics in the harvester; a combination of mechanical bioenergy thinning and motor manual PCT where the latter is used to cut the smallest stems (<2,5 cm).

	SAMMANFATTNING.....	2
	SUMMARY	3
1	INLEDNING.....	5
	1.1 Bakgrund.....	5
	1.2 Syfte	10
2	MATERIAL OCH METODER.....	10
	2.1 Generellt.....	10
	2.2 Maskin och operatör	10
	2.3 Försökslokal.....	12
	2.4 Försöksuppläggning	13
	2.5 Tidsstudien	14
3	RESULTAT	16
	3.1 Kvarvarande bestånd efter åtgärd	16
	3.2 Biomassauttag.....	18
	3.3 Tidsåtgång.....	19
	3.4 Produktion	20
4	DISKUSSION	22
	4.1 Uppläggning av studien	22
	4.2 Beståndet efter åtgärd.....	23
	4.3 Resultat och produktivitet	24
	4.4 Ekonomisk kalkyl.....	25
	4.5 Bioenergiröjarens utvecklingspotential.....	28
	4.6 Utveckling av arbetsmetoder.....	28
	4.7 Slutsatser	30
	REFERENSER.....	31

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

När den nya Skogsvårdslagen trädde i kraft år 1994 togs röjningsplikten bort och ett röjningsberg växte fram (Eriksson & Nordén 1999). Treårsmedelvärdet för åren 1989-1991 visar att ca 395 000 ha svensk skogsmark var klassad under "akut röjningsbehov" (Anon. 2002). År 2002 hade motsvarande areal ökat till ca 1 000 000 ha (Olsson 2004). Förmodligen finns även år 2006 stora arealer eftersatta röjningsbestånd eller konfliktbestånd med ett "akut röjningsbehov".

Men vad exakt är ett eftersatt röjningsbestånd eller ett konfliktbestånd? Eftersatta röjningsbestånd definieras av Riksskogstaxeringen som ungskog vilket har överstigit en bonitetsberoende rekommenderat stamantal med minst 20 % och därmed är i behov av omedelbar röjning (Anon. 2006). Dessa rekommenderade stamantal varierar för tall (*Pinus sylvestris*) från 1 800 (ståndortsindex T12 och lägre) till 3 100 (T28 och högre) och för gran (*Picea abies*) från 1 600 (G16 och lägre) till 2 600 (G36 och högre). Röjning definieras i sin tur som en beståndsvårdande utglesning av skog där huvuddelen av den bortröjda volymen härrör från träd klenare än 10 cm i brösthöjdsdiameter (Dbh). Huruvida träden tas tillvara eller ej spelar ingen roll (Anon. 2006). Gallringsdefinitionen enligt samma källa är en utglesande avverkning vid vilken den uttagna volymen till övervägande del härrör från träd grövre än 10 cm Dbh. Konfliktbestånd avser bestånd där ungskogsröjningen helt uteblivit eller gjorts för svag och att det på grund av detta är svårt att avgöra nästa lämpliga skötselåtgärd (Olsson 2004). Hädanefter i denna studie används begreppet eftersatta röjningsbestånd för ungskogar i omedelbart behov av röjning.

Ett sätt att förbereda eftersatta röjningsbestånd för en lönsam första gallring är att röja dem maskinellt. För motormanuell röjning stiger kostnaden med ökat stamantal och trädhöjd (Bergstrand et al. 1986) medan dessa parametrar inte nämnvärt påverkar prestationen, och därmed kostnaden, för maskinell röjning (Ligné 2004). Men maskinell röjning har ändå haft svårt att kostnadsmässigt konkurrera med motormanuell röjning (Ligné 2004). Teknikutvecklingen av røjmaskiner började på åttioalet men under nittioalet visade det sig att røjmaskinernas prestanda och kvalitet på genomfört arbete inte var tillräckligt hög för att täcka den högre timkostnad de medförde.

Då röjning enbart innebär en kostnad finns det dåliga incitament för skogsägare att utföra åtgärden, inte minst på eftersatta röjningsbestånd. Därför kan ett mer lockande alternativ vara att ta tillvara röjningsvirket som bränsle (Eriksson & Nordén 1999). Intäkterna från bioenergin subventionerar en del av röjningskostnaderna. Men för att skörd av röjningsvirke ska vara mödan värt så krävs en maskin som skördar så mycket biomassa per timme att den täcker den merkostnad som kapitalinvestering, bränsleförbrukning, skotning, vidaretransport, sönderdelning (och eventuella framtida tillväxtförluster) innebär jämfört med motormanuell röjning. Denna avverkningsform kallas antingen röjningsgallring (Glöde & Bergkvist 2004, Åkerman 2005, Adolfsén 2006), energivedsavverkning (www.ponsse.com), eller bioenergirøjning. Då huvuddelen av stammarna som avverkas i de eftersatta röjningsbestånden är klenare än 10 cm Dbh och slutprodukten är bioenergi kommer begreppet bioenergirøjning att användas i denna studie.

Ett viktigt led i utvecklingen av effektiva maskinkoncept för bioenergiröjning har varit flerträdshanterande (ackumulerande) klippaggregat. En sammanställning av produktiviteten vid bioenergiröjning med ackumulerande klippaggregat från tidigare studier redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Beståndsdata, teknisk data och produktivitet vid publicerade studier av ackumulerande klippaggregat samt av röjningsmaskinen Vimek 404R

Stamantal (st/ha)		Medel- diameter Dbh (cm)		Medelhöjd (m)		Aggregat	Maskin	Produktivitet	Referens
Före åt- gärd	Uttag	Före åt- gärd	Uttag	Före åt- gärd	Uttag				
Bioenergiröjning									
5 540- 7 100	3 600- 3 960	—	3,6- 6,5	—	6,3- 8,8	EnHar	FMG 0470 (5,8 ton) beståndsgående skördare, 5,5 m kran och klämbanke	0,5-2 ton TS/G ₀ -tim vid ett uttag på ca 25 ton TS/ha *	Gullberg et al. (1998)
7 870	4 825	—	5	—	3,5- 16	EnHar	samma som ovan	ca 8,1 m ³ /G ₀ - tim eller 1,35 ton TS/G ₀ -tim vid ett uttag på 233 m ³ /ha eller 39 ton TS/ha ***	Eriksson & Nordén (1999)
17 540	—	4,3	—	7,15	—	EnHar	AGT 3.35 Rulle (3,5 ton) modifierad skotare, 6 m kran	2,25 råton/G ₀ - tim eller ca 1,1 ton TS/G ₀ -tim**	Blom (1999)
4 270	2 010	6,3- 10,9	7,5	8,5- 11,8	9,2	EnHar	8 ton tung AGT 3.35 Rulle modifierad basmaskin, 7 m kran och klämbanke	3,05 ton TS/G ₀ -tim vid ett uttag på ca 33 ton TS/ha*	Liss (1999)
5 000	1 700	8	7,4	9-10	—	Timber- jack 720	Rottne 2004 (6 ton) beståndsgående skördare, 7 m kran	5 m ³ /G ₀ -tim eller ca 1,9 ton TS/ G ₀ -tim****	Hammar (2000)
5 890	4 660	—	3-5	—	4,9	Naarva- Grip 1600-40	Valmet 901 (14 ton), 10 m kran	3 m ³ /G ₀ -tim eller ca 1,15 ton TS/G ₀ -tim vid ett uttag på 33 m ³ /ha eller 12,7 ton TS/ha ****	Kärhä et al. (2005)

Tabell 1. Fortsättning

Selektiv röjning									
10 816	7 776	—	—	3,7	—	sjutandad Vimek stjärnröjare	Vimek 404R (3 ton), 5 m kran	6,19 G ₀ -tim/ha	Ligné (2004)
5 160-10 170	2 560-7 710	2,4 -4,8	—	2,8-4,5	—	samma som ovan	samma som ovan	16 G ₀ -tim/ha	Lundstedt & Säterlön (2004)
Stråkröjning									
6 500-16 000	3 800-13 300	—	—	2,4 -2,8	—	samma som ovan	samma som ovan	3 - 4,3 G ₀ -tim/ha vid kalröjning av 40 % av arealen	Bergkvist & Glöde (2004)
5 000-24 000	—	—	—	1,3 -4,5	—	Frontmonterad FAE grenkross (2,5 m bred)	Treemme MM250B redskapsbärare (7,7 ton)	0,5 G ₀ -tim/ha vid kalröjning av 20-25 % av arealen	Bergkvist (2006)

* I dessa studier beräknades mängden torrsubstans enligt Marklund (1988)

** 2 ton råbiomassa är ca 1 ton TS (Håkansson 1994)

*** Vid 50 % fukthalt omvandlas ca 6 m³s till 1 ton TS (Pontén 2005)

**** 2,6 m³f är ca 1 ton TS (Håkansson 1994)

Table 1. Stand characteristics, technical data and productivity in previous studies of accumulating cutting heads during pre-commercial thinning (PCT) and the Vimek 404R thinning machine

Stand density (stems/ha)		Mean Dbh (cm)		Mean height (m)		Cutting head	Machine	Productivity Effective hour (E ₀) Dry matter (DM)	Reference
Before mea- sures	Extrac- tion	Before mea- sures	Extrac- tion	Before mea- sures	Extrac- tion				
Bioenergy thinning									
5 540- 7 100	3 600- 3 960	—	3,6- 6,5	—	6,3- 8,8	EnHar	FMG 0470 (5,8 ton) winding harvester, 5,5 m long boom and clam bunk	0,5-2 ton DM/E ₀ during a harvest of ca 25 ton DM/ha *	Gullberg et al. (1998)
7 870	4 825	—	5	—	3,5- 16	EnHar	same as above	ca 8,1 m ³ s/E ₀ or 1,35 ton DM/E ₀ during a harvest of 233 m ³ s/ha or 39 ton DM/ha ***	Eriksson & Nordén (1999)
17 540	—	4,3	—	7,15	—	EnHar	AGT 3.35 Rulle (3, 5 ton) modified forwarder, 6 m long boom	2,25 raw ton/E ₀ or ca 1,1 ton DM/E ₀ **	Blom (1999)
4 270	2 010	6,3- 10,9	7,5	8,5- 11,8	9,2	EnHar	8 ton AGT 3.35 Rulle heavily modified base machine, 7 m long boom and clam bunk	3,05 ton DM/E ₀ during a harvest of ca 33 ton DM/ha*	Liss (1999)
5 000	1 700	8	7,4	9-10	—	Timber- jack 720	Rottne 2004 (6 ton) winding harvester, 7 m long boom	5 m ³ f/E ₀ or ca 1,9 ton DM/E ₀ ****	Hammar (2000)
5 890	4 660	—	3-5	—	4,9	Naarva- Grip 1600-40	Valmet 901 (14 ton) harvester, 10 m long boom	3 m ³ f/E ₀ or ca 1,15 ton DM/E ₀ during a harvest of 33 m ³ f/ha or 12,7 ton DM/ha ****	Kärhä et al. (2005)

Table 1. Continuing

<i>Selective PCT</i>									
10 816	7 776	—	—	3,7	—	seven tooth- ed Vimek shear type cutting head	Vimek 404R (3 ton), 5 m long boom	6,19 E ₀ /ha	Ligné (2004)
5 160- 10 170	2 560- 7 710	2,4 -4,8	—	2,8- 4,5	—	same as above	same as above	16 E ₀ /ha	Lundstedt & Säterlön (2004)
<i>Corridor PCT</i>									
6 500- 16 000	3 800- 13 300	—	—	2,4 - 2,8	—	same as above	same as above	3 - 4,3 E ₀ /ha when 40 % of the area was cleared	Bergkvist & Glöde (2004)
5 000- 24 000	—	—	—	1,3 - 4,5	—	Front- mounted FAE thresher (2,5 m wide)	Treemme MM250B base machine (7,7 ton)	0,5 E ₀ /ha when 20-25 % of the area was cleared	Bergkvist (2006)

* In these studies, the amount of dry matter was calculated according to Marklund (1988)

** 2 ton raw biomass is ca 1 ton DM (Håkansson 1994)

*** ca 6 m³s translates into 1 ton DM at 50 % moisture content (Pontén 2005)

**** 2,6 m³f is ca 1 ton DM (Håkansson 1994)

I flertalet refererade studier ingick EnHar-aggregatet, vilket numera är vidarutvecklat och heter Timberjack 720. En annan tillverkare av flerträdshanterande klippaggregat är finska Pentin Paja Oy som har tre stycken under namnet Naarva-Grip (www.pentinpaja.fi). Ponsse tillverkar ett ackumulerande klippaggregat (energivedsaggregat) kallat EH25 som kan klippa träd med diameter upp till 30 cm. (www.ponsse.com). Andra finska klippande flerträdshanterande energivedsaggregat inkluderar Moipu 400E, Nisula 280 E och Pinox 220 (Granö 2006). Jämtländska Bräcke tillverkar ett sågande flerträdshanterande aggregat kallat C16a vilket klarar att kapa stammar upp till 26 cm (www.brackeforest.com). De svenska tillverkarna Allan Bruks AB och Silvaro AB har vardera ett klippande flerträdshanterande aggregat kallat Klippen 250 (www.allanbruks.se) respektive K 250 (www.silvaro.se). Båda klarar att klippa träd upp till 25 cm i diameter. De två senare aggregaten används av entreprenörer åt Sveaskog i Närketrakten (Åkerman 2005, Adolfsén 2006). I dessa fall sitter aggregaten på den mellanstora skördaren Caterpillar 570 med en 11 m lång kran vilket leder till att stickvägar redan skapas i röjningsfasen. Det bortfall av volymproduktion som stickvägarna skapar kompenseras till viss del av att man lämnar något fler stammar i mellanzonen (Adolfsén 2006). Arbetssättet i de tidigare studierna varierade. I Eriksson & Nordén (1999) arbetade maskinen längs stickvägar och gjorde instick i mellanzonen var tionde meter men lunnade med hjälp av en klämbanke (en upp- och nervänd grip fastmonterad framför maskinen) ut alla högar till stickväg för att underlätta skotningen. Gullberg et al. (1998) genomförde en studie av samma maskin som ovan. Då arbetade basmaskinen antingen med instick från stickvägar eller endast längs stickvägar med 11 m stickvägsavstånd. Kärhä et al. (2005) tidsstuderade en Valmetskördare modell 901 som arbetade med ett stickvägsavstånd på 20 m och avverkade träden selektivt. Då aggregatet ackumulerade upp till 15 träd per krancykel var detta aggregat lämpligt för en medelstor basmaskin. Kostnaden var dock för hög i relation till den produktivitet som erhöles.

Förutom aggregatet är basmaskinens utformning och egenskaper viktiga för lönsamhet vid bioenergiröjning. Basmaskinen bör helst vara smidig och lätt, ha en lång kran och vara smal så att körstråkens yta (och där med beståndets kalytor) blir så liten som möjligt. Maskinen bör vara bränslesnål och investeringskostnaden låg så att timkostnaden inte äventyrar maskinsystemets lönsamhet.

År 2000 byggde Vimek AB i Vindeln en röjningsmaskinprototyp (Ligné 2004) som uppfyllde ovanstående kriterier. I röjning, där inget biomassaavtag görs, studerades den av Ligné (2004), Bergkvist & Glöde (2004) och Lundstedt & Säterlönn (2004). Dock visade sig maskinens prestation inte vara hög nog, varken som stråkröjare eller selektiv röjningsmaskin, för att kunna konkurrera kostnadsmässigt med motormanuell röjning (tabell 1).

1.2 Syfte

Syftet med studien var att fastställa tidsåtgång och tidsfördelning på arbetsmoment vid selektiv bioenergiröjning i ett tätt ungsöksbestånd med goda terrängförhållanden med en liten (ca 3 ton) skördare och ett ackumulerande aggregat.

2 MATERIAL OCH METODER

2.1 Generellt

Studien baseras på en tidsstudie i fält. I fältarbetet ingick först en uppmätning och beskrivning av försöksparceller. Tidsstudien utfördes som en frekvensstudie. Biomassaavtaget beräknades genom en inventering av antalet stammar som skördaren klippte och lade i högar i kombination med biomassafunktioner för täta ungsöksbestånd. Matematiska och statistiska analyser utfördes sedan med programmet Microsoft Excel.

2.2 Maskin och operatör

Basmaskinen var en Vimek 404R av samma typ som studerades av Ligné (2004) och Lundstedt & Säterlönn (2004). Maskinen var utrustad med ett Naarva-Grip aggregat som modifierats med en kort arm för ackumulering. Kranen var frontmonterad och har en räckvidd på 5 m från maskinmitt. Maskinens och aggregatets tekniska data i tabell 2 är hämtade från Lundstedt & Säterlönn (2004), Ligné (2004), Nilsson (2006, pers. meddel) och (www.pentinpaja.fi).

Tabell 2. Teknisk data för basmaskin och aggregat
Table 2. Technical data for Vimek 404R and cutting head

Basmaskin/Base machine Vimek 404R	
Massa/Mass (kg)	2 800
Längd/Length (cm)	335
Bredd/Width (cm)	180
Markfrigång/Ground clearance (cm)	40
Inre vändradie/Inner turning radius (cm)	40
Yttre vändradie/Outer turning radius (cm)	220
Styrning/Steering	Hydraulisk ramstyrning och hjulstyrning/ <i>Hydraulic frame and wheel steering</i>
Motor/Motor	Kubota 1105 dieselmotor på/effect 21 kW
Hydraulflöde/Hydraulic flow rate (L/min)	55 (vid/at 2 350 rpm)
Maximalt tryck/ Maximum hydraulic pressure (bar)	180
Naarva-Grip 1000-23 modifierat aggregat/modified cutting head	
Massa/Mass (kg)	180
Max kapningsdiameter/ Maximum cutting diameter (cm)	23 (27-28 cm om man klipper i två omgångar/if cut in two tries)

Klippaggregatet avskiljer stammarna med ett giljotinblad som skjuts fram hydrauliskt då aggregatet greppar trädet (Lundstedt & Säterlönn 2004). Modifiering gjordes av Vimek då en ca 25 cm lång ackumulerande arm byggdes på toppen av aggregatet. Denna arm håller stammarna då aggregatets gripar öppnas för att greppa nya stammar (figur 1).



Figur 1. Det modifierade Naarva-Grip 1000-23 aggregatet (foto: Lundstedt & Säterlönn 2004).

Figure 1. The modified Naarva-Grip 1000-23 cutting head (photo: Lundstedt & Säterlönn 2004).

Entreprenören köpte maskinen april 2005 och bottenröjde (alla stammar avverkas och inga stubbar högre än 10 cm lämnas kvar) kraftledningsgator med en kranspetsmonterad röjbalk från Vimek fram tills årsskiftet 2005/06. Då köpte han ett Naarva-Grip aggregat och började lövsanera runt kraftverksdammar, skota ut röjningsvirket till bilväg och sälja det som flis. Totalt hade entreprenören ca 500 timmars körning med Vimek 404R bakom sig varav 100 timmar med Naarva-aggregatet. Tidigare har entreprenören jobbat fem år som skördar- och skotarförare i både slutavverkning och gallring. Således var föraren välbekant med Vimek 404R och med maskinkörning i bestånd även om detta var den första gång han bioenergiröjde med maskinen i fråga.

2.3 Försökslokal

Tidsstudien utfördes i ett ca 1,5 ha stort bestånd förvaltat av Stora Enso vid Loforsens vattenkraftverk ca två km väster om Sunnansjö i Dalarna. Beståndet betecknas 414 och kalhögs hösten 1987/vintern 1988 för att underlätta kraftstationsbygget (Ström 2006, pers. medd.). Beståndet har självföryngrats med främst björk (*Betula spp.*), gran och al (*Alnus incana*). Ståndortsindex uppskattades till G25 (Lundholm 2006, pers. medd.). Beståndet valdes ut då terrängfaktorerna var goda samt att stamantal och medelhöjd var så höga att beståndet kunde betecknas som ett eftersatt röjningsbestånd (tabell 3). Beståndet låg inklämt mellan en väg och en kraftledning och en mindre bäck rann igenom beståndet (figur 2). De genomsnittliga terrängförhållandena enligt Skogsarbetens terrängtypschema (Berg 1983) var grundförhållanden klass 2, ytstruktur klass 1, och lutning klass 1.

Tabell 3. Beståndsdata för försöksbeståndet före bioenergiröjningen

Table 3. Data on the dense, young stand before the bioenergy thinning

Parcell/ Parcel	Areal/ Area (m ²)	Täthet/ Density (st/ha)	Trädslagsfördelning/ Species composition (%)				Grund- ytevägd medelDbh/ Basal area weighted mean Dbh (cm)	Grund- ytevägd medelhöjd/ Basal area weighted mean height (m)	Mängd biomassa/ Amount of biomass (ton TS/ha)*	Terräng- förhållan- den/ Terrain conditions **
			Tall/ Pine	Gran/ Spruce	Björk/ Birch	Al/ Alder				
1	600	10 800	0	15	72	13	5,3	7,1	96,6	2 / 1 / 1
2	732	14 800	0	34	53	14	4,0	7,0	49,9	2 / 1 / 1
3	400	22 200	0	19	80	1	4,5	7,6	105,6	2 / 1 / 1
4	400	14 400	1	26	53	19	4,4	7,9	66,7	2 / 1 / 1
5	600	15 400	1	31	53	14	3,9	5,0	45,1	3 / 1 / 1
6	600	16 400	1	17	66	16	4,9	7,3	88,5	2 / 2 / 1
7	600	13 600	0	13	65	22	5,3	7,5	90,8	2 / 2 / 1
Medelvärde/ Mean value		15 371	1	22	64	13	4,6	7,05	77,6	2 / 1 / 1

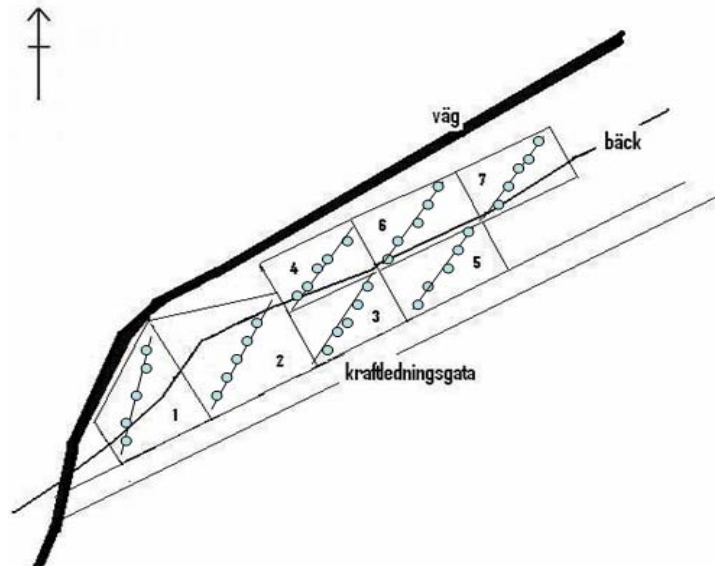
* Baserat på biomassa-funktioner från Claesson et al. (2001) /Based on biomass functions from Claesson et al. (2001)

** Grundförhållanden / Ytstruktur / Lutning; klass 1-5 enligt Terrängtypschemat (Berg 1983) /Load bearing capacity / Surface structure / Steepness class 1-5 according to Terrängtypschemat (Berg 1983)

Målet med bioenergiröjningen var att lämna ca 2 200 träd per ha, jämnt fördelade och med tonvikt på gran.

2.4 Försöksuppläggning

Inom beståndet snitslades sju parceller ut med en totalareal på 3 932 m² (tabell 3). Riktningar och avstånd uppmättes med kompass och måttband. På grund av beståndets form var två av parcellerna triangelformade och fem var rektangulära. För att undvika vägdikets påverkan på prestationen lämnades en buffert mellan parcellerna och vägen (figur 2).



Figur 2. Försöksbeståndet med numrerade parceller.

Figure 2. The study area including the numbered parcels.

Inom varje parcell antecknades ev. svårforcerade hinder och terrängförhållandena bedömdes okulärt. Fem provytor á 10 m² lades ut längs en rak linje med start i parcellens sydvästra hörn (figur 2). Inom provytan mättes antal träd, trädslag, höjd och diameter med hjälp av klave och stånghöjdsjäkmätare. Ett träd registrerades om brösthöjdsdiameter översteg 10 mm, annars klassificerades det som en bistam men registrerades ej.

För att bedöma biomassan på de klippta stammarna mättes höjd, grönkrongräns, diameter i brösthöjd och stubbdiameter på ett antal provträd av varje trädslag. Totalt uppmättes slumpmässigt 101 björkar, 61 granar och 60 alar med en variation i Dbh mellan 2 och 15 cm inom de sju parcellerna. Därmed kunde också korrelationen mellan stubbdiametern och Dbh fastställas. Med hjälp av biomassafunktioner för unga träd i stamrika bestånd (Claesson et al. 2001) beräknades den totala biomassan för respektive trädslag. För al användes samma funktioner som för björk. Microsoft Excel användes sedan för att uttrycka biomassan som funktion av stubbdiametern.

Stubbdiametern bestämdes 25 cm över marken. Den höga stubbhöjden valdes i samråd med entreprenören då hans erfarenheter visade, och mätningar senare bekräftade, att stubbhöjden oftast blev så hög. Då aggregatet ofta greppade flera stammar i taget böjdes stammarna i sidled och några av stubbarna blev därför högre än om en stam i taget hade klippts.

2.5 Tidsstudien

Tidsstudien genomfördes som en frekvensstudie där aktuella arbetsmomentet registrerades var 5e sekund (tabell 3). Tidsstudien började när kranen eller maskinen passerade parcellens yttergräns och avslutade när den sista stammen klipptes, alternativt när föraren signalerade att han var klar. Då parcellgränserna utgjorde ett hinder för ett normalt arbetsmönster räknades körningstiden bort.

Tabell 3. Frekvensstudiens momentgränser och prioritetsordning

Arbetsmoment	Momentgränser	Prioritetsordning
Kran ut tom	Från att högarna hade lagts på marken tills griparmarna hade omslutit den första stammen helt	1
Kran in lastad	Från att sista trädet hade avskiljts tills aggregatet hade lagt högarna på marken, inklusive tillrättläggning	1
Klippning/ ackumulering	Från första stammen hade omslutits helt tills det sista trädet avskiljts (inklusive kranens rörelse till de andra träden under ackumuleringsfasen)	1
Ompositionering	All maskinkörning kortare än 10 m	2
Körning	All maskinkörning längre än ca 10 m	2
Störning	När träd tappades och plockades upp igen eller losskapning av rotklumpar	2
Övrig verktid	När föraren rekognoserade från hytten samt manuellt arbete	2
Avbrott	Störningar som ej ingick i verktiden (telefonsamtal, maskinfel mm.)	3

Table 3. The divisions and hierarchy of the machine work elements

Work element	Division description	Hierarchy
Boom out	From when the stems were laid on the ground until the grapple arms had completely embraced the next tree	1
Boom in	From when the last tree was cut until the stems were laid in piles on the ground, including repositioning the stems in the pile	1
Cutting/ accumulation	From when the first stem was completely embraced by the grapple arms to when the last tree was cut (including the movement of the boom to all other trees under the accumulation phase)	1
Repositioning	All machine movement shorter than 10 m	2
Transport	All machine movement longer than 10 m	2
Disturbance	When stems were dropped and needed to be picked up again, or when root clumps were needed to be cut away	2
Other work	When the driver reconnoitered or other manual work	2
Disruptions	Disruptions that were not attributable to the bioenergy thinning (telephone calls, machine break-down etc.)	3

Frekvensstudien genomfördes på barmark under fem soliga dagar i maj månad. Under dessa dagar började löven slå ut men skymde inte sikten (figur 3).



Figur 3. Försöksbeståndet under arbetets gång sett från kraftledningsgatan.

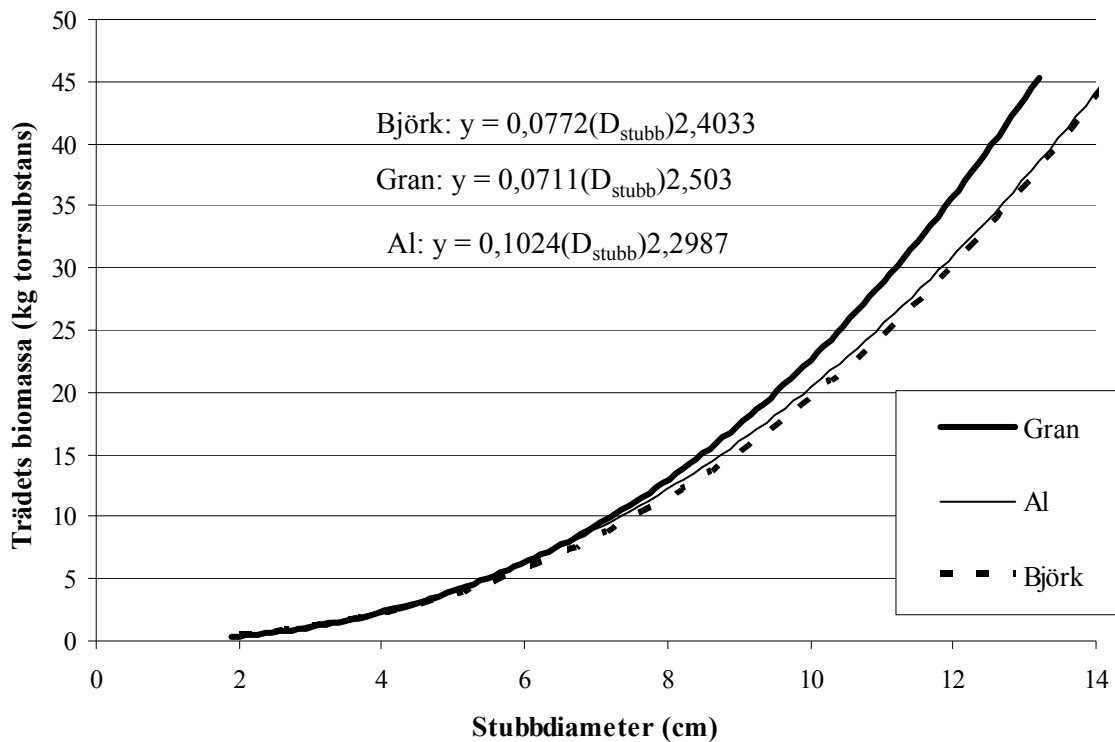
Figure 3. The study area as seen during the time study from the power line right-of-way.

Dieselförbrukningen noterades under tidsstudiens gång. Vid början av tidsstudien uppskattades dieselmängden i bränsletanken. Sedan mättes hur mycket som tankades och slutligen uppskattades dieselmängden igen i bränsletanken efter den sista parcellen hade åtgärdats.

Efter avverkning lades fem provytor á 50 m² ut inom varje parcell med start i det sydvästra hörnet. Utöver de variabler som mättes före åtgärd skadeinventerades varje provyta. Vid skadeinventeringen noterades om trädets skada fanns i direkt anslutning till hjulspår eller ej. Ett träd registrerades som skadat om splintveden kunde ses, oavsett skadans storlek (Ligné 2004). Stammen granskades upp till 2 m höjd.

För att beräkna den skördade biomassan räknades och snitslades alla högar inom varje parcell. Sedan räknades, trädslagsbestämdes och klavades ändytan på varje stam i var 4-5e hög inom varje parcell. Dessa änddiametrar kopplades sedan samman med stubbdiametrarna från provträden.

Stammarnas torrsubstans (TS) beräknades sedan med hjälp av de funktioner som redovisas i figur 4. I Microsoft Excel prövades linjära, kvadratiske och exponentiella funktioner. Korrelationen (R^2 -värdet) mellan Dbh och stubbdiameter för det insamlade materialet var mellan 0,94 och 0,98.



Figur 4. Trädets biomassa som funktion av stubbdiametern (D_{stubb}).

Figure 4. The tree's biomass as a function of stump diameter (D_{stubb}).

Under juni 2006 skotades alla snitslade högar ut till väg med en Vimek 606 skotare där de sedan flisades under september månad.

3 RESULTAT

3.1 Kvarvarande bestånd efter åtgärd

Föraren klippte både röstammar och merparten av bistammarna. Föraren körde maskinen slingrande genom beståndet och stickvägsbredden var lika med maskinbredden, 1,8 m. Föraren arbetade med kranen på båda sidorna och placerade högarna direkt i anslutning till stickvägen (figur 5). Stickvägsavståndet varierade mellan 7-10 m med ett medelvärde på 9 m. Längre stammar (uppskattningsvis över 7 m) klipptes först på mitten sedan vid stubbhöjd. Detta arbetssätt gynnade skotningen och nedläggningen av stammarna då de långa stammarna annars trasslade in sig i huvudstammarna.



Figur 5. Delar av den färdigbehandlade parcell 3 sett från ett körstråk.

Figure 5. Parts of parcel 3 after the completed thinning as seen from a driving strip.

Efter bioenergiröjningen lämnades en grandominerad blandning av björkar och granar i de sju parcellerna där granarna oftast var betydligt lägre än björkarna (tabell 4). De flesta alarna skördades men två av de tre sälgbuketter som fanns inom parcellerna sparades. Totalt fanns 46 % av de skadade stammarna i direkt anslutning till hjulspåren.

Tabell 4. Beståndsdata för försöksbeståndet efter genomförd bioenergiröjning
Table 4. Stand characteristics after the bioenergy thinning

Parcell/ <i>Parcel</i>	Täthet/ <i>Density</i> (st/ha)	Andel skadade stammar/ <i>Share of</i> <i>injured</i> <i>stems</i> (%)	Trädslagsfördelning/ <i>Species composition (%)</i>				Grund- ytevägd medelDbh/ <i>Basal area</i> <i>weighted</i> <i>mean Dbh</i> (cm)	Grund- ytevägd medel- höjd/ <i>Basal area</i> <i>weighted</i> <i>mean</i> <i>height (m)</i>	Mängd biomassa/ <i>Amount of</i> <i>biomass</i> (ton TS/ ha)*
			Tall/ <i>Pine</i>	Gran/ <i>Spruce</i>	Björk/ <i>Birch</i>	Al/ <i>Alder</i>			
1	1 750	23	0	49	51	0	7,3	7,7	23,4
2	2 750	11	0	82	16	2	4,8	5,3	13,2
3	2 300	33	2	85	13	0	4,9	5,3	11,4
4	2 050	27	2	76	15	7	6,1	5,0	17,7
5	2 640	33	3	86	11	0	5,1	5,5	15,0
6	2 200	33	4	75	18	4	6,0	5,6	18,9
7	2 480	21	0	50	40	10	6,3	7,5	23,9
Medel- värde/ Mean value	2 310	25	2	73	22	3	5,8	6,0	17,6

* Baserat på biomassafunktioner från Claesson et al. (2001) /Based on biomass functions from Claesson et al. (2001)

3.2 Biomassauttag

Uttagets medelvärde enligt inmätningen av högar blev 55,9 ton TS/ha, med en variation från 41,2 till 69,9 ton TS/ha (tabell 5). Enligt provyteskattningarna av beståndet före och efter bioenergiröjningen skördades i medeltal 60 ton TS/ha. Differensen på 4,1 ton TS/ha kan till stor del förklaras med att de ca 25 cm höga stubbarna beräknades innehålla i medeltal 2,6 ton TS/ha. I genomsnitt lades stammarna i 409 högar/ha (standardavvikelse 73, variationsvidd 333-525). I varje hög fanns det i genomsnitt 25 stammar med en variationsvidd på 10-42 stammar per hög (figur 6). Den genomsnittliga högen innehöll 141,2 kg TS med variationsvidd 37,9-342,6 kg TS mellan de samplade högarna.

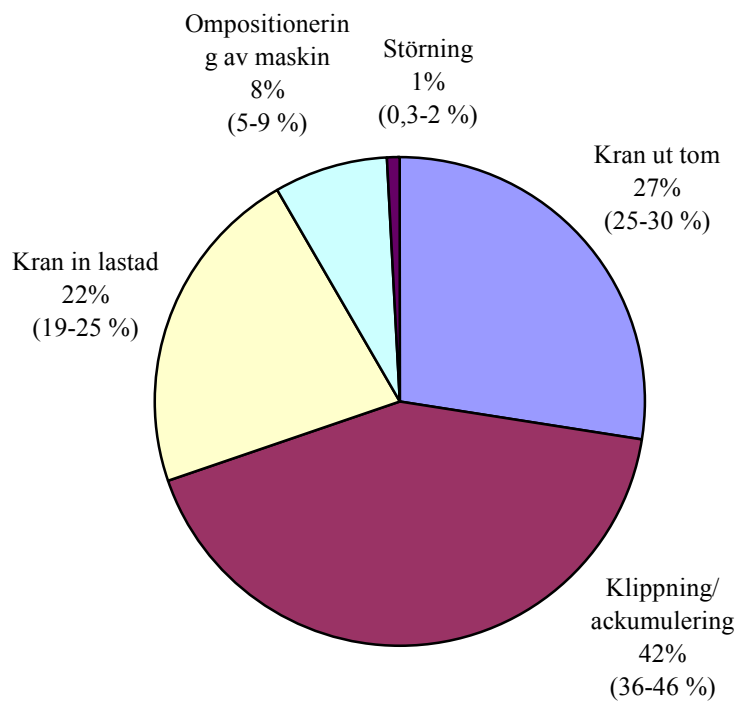


Figur 6. En typisk hög av stammar och avklippta toppar. Denna hög innehöll 29 stammar.
Figure 6. A typical pile of stems. This pile contained 29 stems.

3.3 Tidsåtgång

Totalt tidstuderades maskinen 21 tim och 58 min (G_0 -tid). Den genomsnittliga tidsåtgången beräknades till 56,8 G_0 -tim/ha, med en variation från 43,1 till 67,8 G_0 -tim/ha för de olika parcellerna.

Arbetsmomentet klippning upptog 42 % av G_0 -tiden. Kran ut och kran in tillsammans tog 49 % av tiden (figur 7). Endast 8 % av tiden gick åt till ompositionering av maskinen. Vid frekvensstudien missades 1,2 % av observationerna. Här antas det att dessa fördelade sig proportionerligt mellan samtliga moment.



Figur 7. G_0 -tidens fördelning på arbetsmoment (variationsvidd för olika parceller inom parentes).

Figure 7. The effective work time divided on work elements (the parcels' variation range in parentheses).

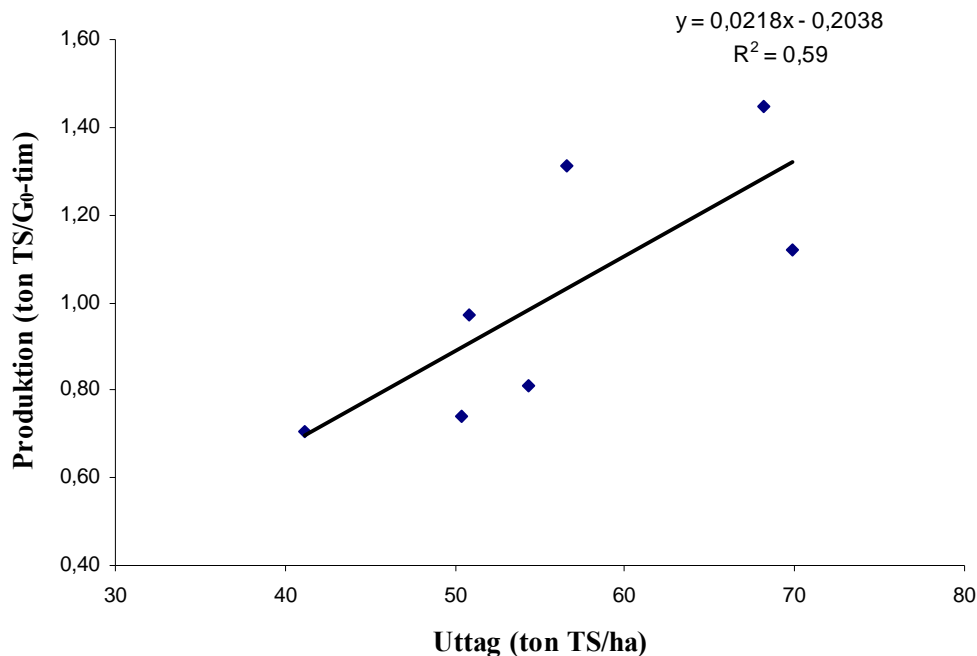
3.4 Produktion

Produktionen blev i genomsnitt 0,98 ton TS/ G_0 -tim med en variation mellan 0,71 och 1,45 ton TS/ G_0 -tim (tabell 5).

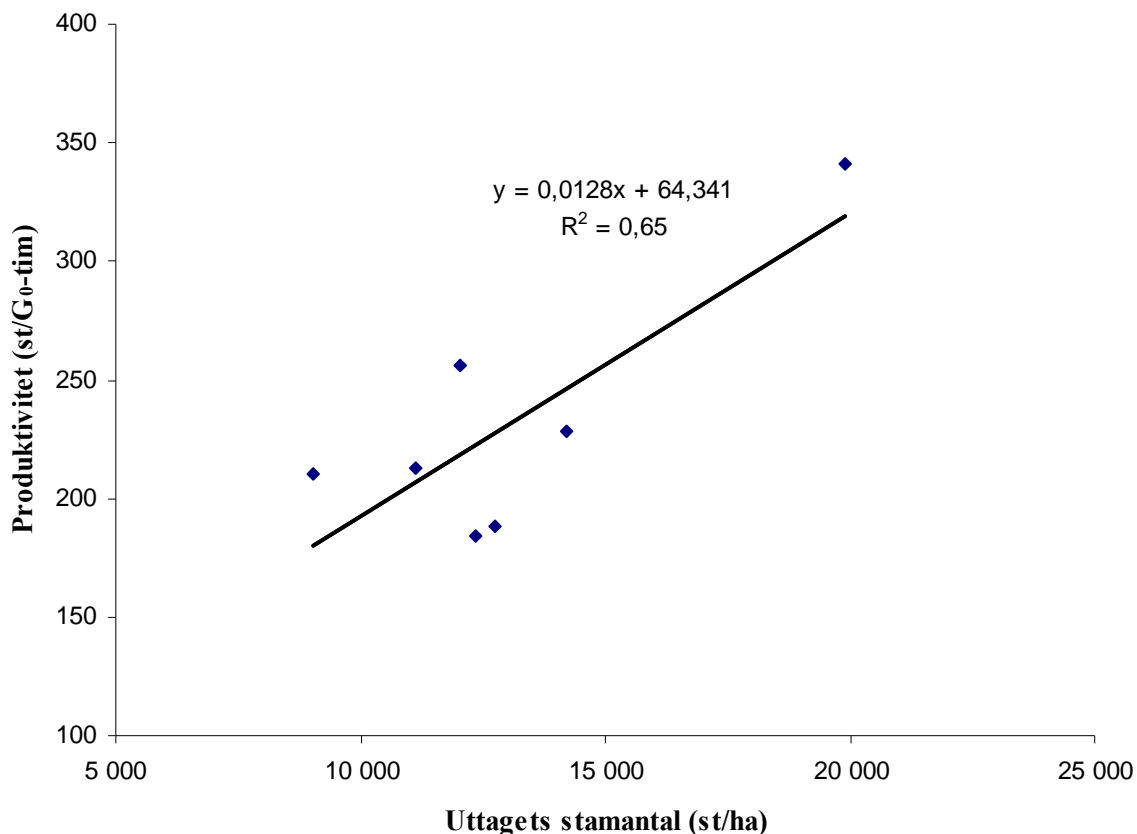
Tabell 5. Biomassauttag och produktion för Vimek 404R
 Table 5. Biomass harvest and productivity of Vimek 404R

Parcell/ Parcel	Uttagets stamantal/ Number of stems removed (st/ha)	Grundtyevägd medel Dbh/ Basal area weighted mean Dbh (cm)				Uttag/ Extraction (ton TS/ha)	Tidsåtgång/ Time requirement (G ₀ -tim/ha)	Produktion/ Productivity (ton TS/ G ₀ -tim)
		Gran/ Spruce	Björk/ Birch	Al/ Alder	Totalt/ Total			
1	9 050	2,5	4,7	5,9	4,97	56,6	43,1	1,31
2	12 050	2,9	4,4	7,6	5,46	68,2	47,1	1,45
3	19 900	2,3	3,8	5,1	4,13	41,2	58,3	0,71
4	12 350	2,1	4,4	5,5	4,66	54,4	66,9	0,81
5	12 760	3,1	4,1	3,6	3,98	50,3	67,8	0,74
6	14 200	3,1	4,7	3,8	4,51	69,9	62,3	1,12
7	11 120	3,8	4,4	4,3	4,36	50,8	52,2	0,97
Medel- värde/ Mean value	13 061	2,8	4,4	5,1	4,58	55,9	56,8	0,98

Ett positivt samband fanns mellan hur stor mängd biomassa per ha som avverkades och den uppmätta produktionen (figur 8). Något samband mellan parcellernas stamantal, medelhöjd respektive medeldiameter och produktion kunde ej påvisas. Produktionen mätt i antalet avverkade stammar per G₀-tim var positivt korrelerad med antalet avverkade stammar per ha (medelvärde 232, variationsvidd 185-341) (figur 9).



Figur 8. Produktion som funktion av uttagen mängd biomassa.
 Figure 8. Productivity as function of the amount of biomass removed.



Figur 9. Produktiviteten mätt i stammar per G₀-timme som funktion av uttagets stamantal.
Figure 9. Harvested stems per effective hour as function of the number of harvested stems per ha.

Totalt tankades 50 L under tidsstudien. Uppskattningsvis fanns det 10 L i tanken före start på parcell 1 och 10 L kvar efter avslutandet av parcell 7. Den totala maskintiden var ca 22,5 timmar. Den uppskattade bränsleförbrukningen blir därför ca 2,2 L/G₀-tim.

4 DISKUSSION

4.1 Uppläggning av studien

Målet med studien var att fastställa tidsåtgången för en Vimek 404R i en bioenergiröjning under goda terrängförhållanden. Studien utfördes med ett starkt begränsat utbud av möjliga ungsogsbestånd. Ungskogen som nyttjades i studien var tveklöst i behov av röjning men enligt bedömning av entreprenören och lokala skogliga tjänstemän skulle Vimekmaskinen ha producerat bättre om beståndet hade fått växa några år till. Men i så fall hade beståndet också varit än mera eftersatt och av den orsaken var bioenergiröjningens tidpunkt befogad ur ett skogsskötselperspektiv.

Otvivelaktligen påverkades produktiviteten negativt av parcellernas form. I parcell 4 och 6 behövde föraren köra bredvid och ta hänsyn till den lilla bäcken istället för att bara korsa den vid enstaka tillfällen som ett normalt arbetsmönster skulle ha tillåtit. Helst skulle entreprenören ha kört i raka stråk genom beståndet, arbetat med kranen på båda sidorna och

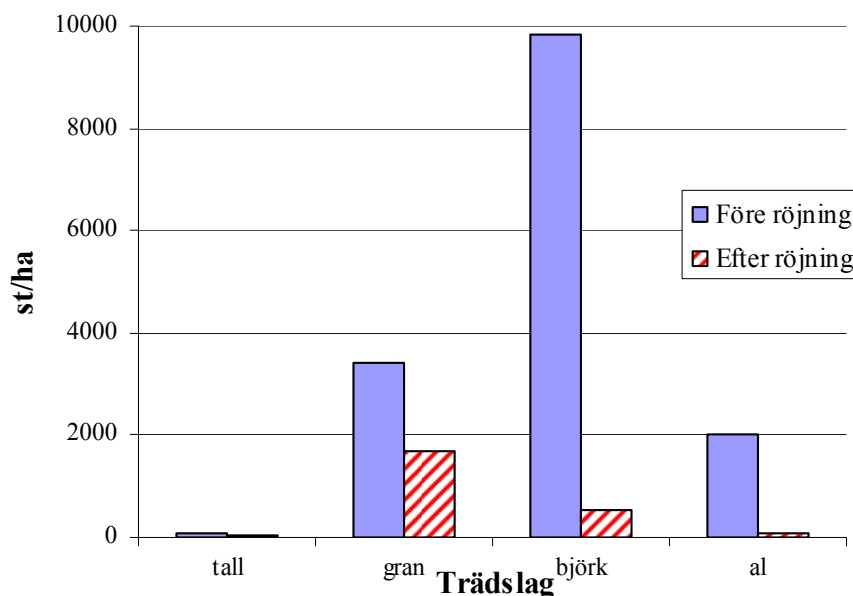
vänt i kraftledningsgatan och vid väg. Detta var ett planeringsfel som enkelt kunde ha undvikits med långsmala ca 10 m breda parceller.

Årstiden och vädret var idealiska då lövsprickningen inte hade kommit igång på allvar och marken var torr. Speciellt den ohämnade sikten torde ha gynnat Vimekmaskinens produktivitet vilket innebär att produktionen förmodligen skulle ha varit ännu lägre under sommarmånaderna.

Enligt Riksskogstaxeringen var försöksbeståndet bland de 10 % mest virkesrika ungskogsbestånd i hela Sverige. Därmed kan man förvänta sig att en areal på ca 68 000 ha finns över hela Sverige där man kan göra likvärdiga uttag vid likvärdig ålder. Försöksbeståndets biomassa per ha var väldigt högt då medelbiomassan före bioenergiröjningen på 77,6 ton TS/ha motsvarar 201,8 m³f biomassa/ha (Håkansson 1994). Att ett självföryngrat ungskogsbestånd på 18 år kan innehålla så mycket biomassa betyder att den årliga tillväxten har motsvarat ca 11,2 m³f biomassa/år, vilket är förvånansvärt högt.

4.2 Beståndet efter åtgärd

Bioenergiröjningen efterlämnade ett tillfredsställande antal stammar jämnt utspritt inom varje parcell. Trädslagsfördelningen inom beståndet förändrades radikalt men var enligt det uppsatta målet (figur 10). De höga kvarlämnade stubbarna såg för ögat inte vackra ut, men enligt Ligné (2004) bör de inte utgöra något framtida hinder vid första gallringen eller leda till att stubbskott får lättare att etablera sig.



Figur 10. Trädslagsfördelning före och efter bioenergiröjningen.

Figure 10. Species composition before and after the bioenergy thinning.

En stor andel (25 %) av kvarvarande huvudstammar var skadade på något sätt och drygt hälften av dessa stod direkt i stickvägskant. Hur många färre stammar skulle ha skadats om maskinen endast hade körts i raka stråk? Troligen avsevärt färre då den svängande och backande maskin körde på många träd. Skadefrekvensen kan jämföras med de sex bestånden som ingick i Kärhä et al. (2005). I den studien skadades mellan 0,2 % och 6,7 % av de kvarvarande stammarna som rapporterades oftast ligga i anslutning till stickvägen. Maskinerna i Kärhäs studie arbetade alla längs ett enda körstråk. I Ligné (2004) röjde en

Vimek 404R med ett stjärnröjningsaggregat där stammarna inte skördades. I den studien skadades endast 2,1 % av stammarna samtidigt som motormanuell röjning, vilket användes som jämförande metod, skadade 1,3 % av stammarna. En högre andel skador registrerades i studien av Gullberg et al. (1998). Där skadades mellan 7,4 och 19,7 % av kvarvarande stammar, vanligtvis på grund av maskinens hjul. Antagligen var det också så att föraren i föreliggande studie inte hade den vana med bioenergiröjning som var nödvändig. Studien genomfördes i det första bestånd som han behandlade på detta sätt.

Det totala biomassauttaget vid denna studie beräknades till ca 56 ton TS/ha vilket innebar 72 % av beståndets biomassa före åtgärd. Enligt gallringsmallar rekommenderas ett gallringsuttag inklusive stickvägar på maximalt 40 % av grundytan före gallring i yngre skog (Anon. 1985). Likväl kan man inte klassa bioenergiröjningen som för hård då stamantalet efter bioenergiröjningen fortfarande översteg det rekommenderade stamantal efter röjning (ca 2000 st/ha för ståndortsindex G25) (Anon. 2006). Dessutom baseras gallringsmallarnas rekommendationer på bestånd som sköts, dvs. utglesade i ungskogsfasen.

4.3 Resultat och produktivitet

Studieresultaten visade en hög tidsåtgång, ca 57 G₀-timme för att röja ett ha. Trots detta gav maskinen ett synintryck av att arbeta effektivt i beståndet eftersom maskinen klippte bort i medeltal ca 13 000 st/ha, plus ett obestämt antal bistammar (figur 11). Enligt Bergstrand et al. (1986) skulle en motormanuell röjare behöva ca 16,5 G₀-timme/ha för att röja samma bestånd.

I jämförelse med EnHar-aggregatet i Blom (1999) producerade Vimekmaskinen likvärdigt. I Bloms prestationsstudie avverkade aggregatet i medeltal ca 1,1 ton TS/G₀-timme i ett bestånd med likvärdig medelDbh men ett ca 15 % högre stamantal. I Eriksson & Nordéns (1999) studie arbetade EnHar-aggregatet i ett grövre bestånd med ett lägre stamantal, liksom i studien av Hammer (2000), vilket möjliggjorde högre produktivitet. I studien av Liss (1999) var det röjda beståndet nära nog ett gallringsbestånd med en medelhöjd på 10 m och en medelDbh på 9 cm före åtgärd vilket förklarar den höga prestationen. I studien av Gullberg et al. (1998) var stamantalet betydligt lägre än i föreliggande studie men med en både grövre och klenare medeluttagsdiameter vilket innebar en kraftigt varierande produktion. Samtidigt var bioenergiröjningskonceptet i sin linda när Gullberg et al. (1998) studerade EnHar-aggregatet.

Kärhä et al. (2005) studerade det mycket större Naarva-Grip 1600-40 aggregatet. I jämförelse med Vimekmaskinens Naarva-Grip aggregat krävde 1600-40 aggregatet starkare hydraulik men erbjöd desto högre kapacitet. Att de båda studierna pekar på likvärdiga produktionsresultat reflekterar snarare den låga mängden biomassa per ha och den korta medelhöjden på uttaget i Kärhäs studie. Möjligtvis skulle Vimekmaskinen ha presterat ännu högre än Kärhäs Valmetmaskin om parcellerna i föreliggande studie medgett raka körstråk så som Kärhäs Valmetmaskin gjorde.



Figur 11. Vimek 404R under bioenergiröjning.

Figure 11. Vimek 404R in action.

De beståndsfaktorer som har störst påverkan på produktiviteten vid maskinell röjning har erfarenhetsmässigt visat sig vara stamantal, medeldiameter och medelhöjd på träden (Glöde & Bergkvist 2004). Att stamantalet, medeldiametern och medelhöjden inte visade sig ha en produktionspåverkan i denna studie beror snarare på att deras spridning var liten parcellerna emellan. Den sammanlagda effekten av högt stamantal, grova diametrar och höga trädhöjder är hög volym, och i föreliggande studie hade den uttagna volymen per ha en tydlig positiv inverkan på produktionen.

4.4 Ekonomisk kalkyl

Ett enkelt ekonomiskt kalkylexempel på entreprenörens maskinsystem visar att Vimek 404R och Vimek 606 har en timkostnad på 367 kr/tim respektive 331 kr/tim (tabell 6). Därmed blir den totala maskinsystemkostnaden 698 kr/tim.

Tabell 6. Förutsättningar för kostnadskalkyl på Vimek 404R bioenergiröjare, Vimek 606 skotare och motormanuell röjning

Table 6. Conditions for calculating the costs of Vimek 404R bioenergy thinning machine, Vimek 606 forwarder and motor manual pre-commercial thinning

	404R (inklusive aggregat/ <i>including cutting head</i>)	606	Motormanuell röjare/ Motor manual PCT
Investeringsbelopp/ Initial investment (SEK)	670 000*	480 000*	11 000***
Restvärde/Rest value (SEK, 30 % av invest-eringsbeloppet/ <i>of initial investment</i>)	201 000*	144 000*	3 300***
Kalkylränta/ Interest rate (%)	7*	7*	7*
Ekonomisk livslängd/ Economic lifetime (år/year)	5*	5*	3
Fast under- hållskostnad/ Fixed maintenance costs (SEK/år)	25 000*	20 000*	—
Rörlig under-hållskostnad/ Hourly maintenance costs (SEK/tim)	25*	20*	45***
Drivmedelskostnad/ Fuel costs (SEK/tim)	20	15**	5***
Förarkostnad/ Driver's wage including taxes and administration (SEK/tim, inkl. sociala avgifter samt administration)	220***	220***	200***
Systemtid/ Number of work place hours per year (tim/år)	1 600	1 600	800
Flyttkostnad/ Transportation costs based on 10 moves/year (10 flytt/år å 1000 SEK/flytt)	10 000*****	10 000*****	1000
Total kostnad/ Total hourly cost (SEK/tim)	367	331	254
Arbetsplatstids- faktor/ Work place factor *****	1,65	1,45	1,5

* från/from Nilsson (2006, pers. meddel)

** baserat på bränsleförbrukningen från/based on fuel consumption from Örtendahl (2000)

*** från/from Larsson (2006, pers. meddel)

**** baserat på systemtiden enligt ovan och en medelhyggesareal på 3 ha/based on 1600 work place hours and a mean stand area of 3 ha

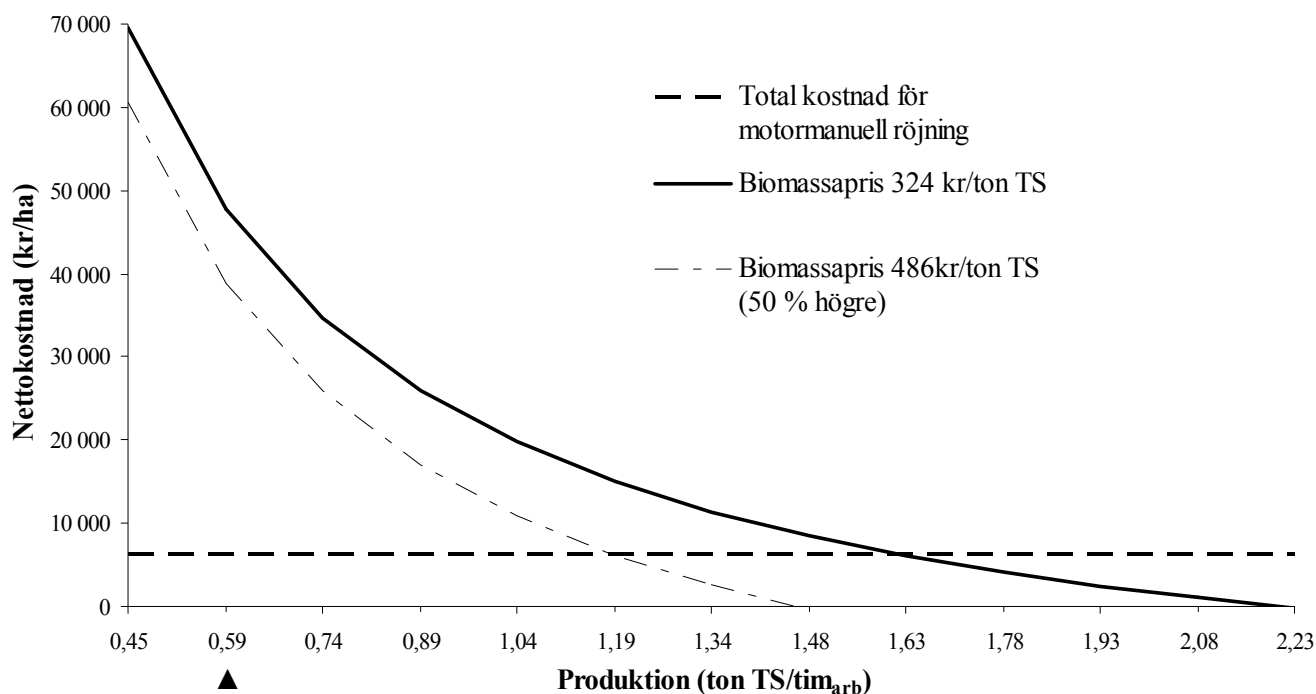
***** enligt/according to Kuitto et al. (1994) och Ligné (2004)

Om man antar att Vimek 606 producerar lika mycket som Vimek 404R, då kostar varje ton TS vid bilväg ca 712 kr. Enligt entreprenören betalas röstammarna 54 kr/m³s vid bilväg. 1 ton TS blir enligt Pontén (2005) 5,6-6,7 m³s. Detta innebär att entreprenören betalas med ca 324 kr/ton TS, eller ca 318 kr/G₀-tim enligt medelproduktionen.

Men den totala arbetsplatstiden är alltid högre än G₀-tiden då raster, underhåll och dylikt inte är medräknat i föreliggande tidsstudie. Enligt Kuitto et al. (1994) beräknas den sammanlagda arbetsplatstiden för engreppsskördare som 1,86×G₀-tim och för skotare 1,45×G₀-tim. Då Vimek 404R är en enklare maskin och har ett betydligt driftsäkrare aggregat än engreppsskördarna uppskattas den sammanlagda arbetsplatstidsfaktorn för 404R vara lite lägre, ca 1,65. Därmed kan man anta att den totala arbetsplatstiden per ha blir 56,8 (G₀-tim/ha)×1,65 = 93,7 tim_{arb}/ha och att de totala intäkterna per arbetsplatstimme (tim_{arb}) blir 318 (kr/G₀-tim)/1,65 = 192,7 kr/tim_{arb}.

Nettot för att röja ett ha av det studerade beståndet blir följaktligen: Intäkter (192,7 kr/tim_{arb})(93,7 tim_{arb}/ha) – kostnader (698 kr/tim_{arb})(93,7 tim_{arb}/ha) = -47 340 kr/ha. Detta kan jämföras med nettot för motormanuell röjning vilket beräknas till -6 286 kr/ha där arbetsplatstidsfaktorn fastställs som 1,5 (Ligné 2004) och timkostnaden (inklusive allt) som 254 kr/tim.

Vid vilket pris per m³s vid bilväg blir maskinsystemet mer lönsamt än motormanuell röjning? Om man antar kostnaden för maskinsystemet enligt ovan då måste priset för biomassa mer än tredubblas kr för att maskinsystemet ska kunna konkurrera med motormanuell röjning. Alternativt måste produktiviteten för maskinsystemet öka till ca 1,62 ton TS/tim_{arb}, nästan tre gånger så högt som medelproduktiviteten (0,59 ton TS/tim_{arb}) i föreliggande studie (figur 12).



Figur 12. Nettokostnaden per ha för Vimeks maskinsystem vid systemtid på 1600 tim_{arb}/år som en funktion av produktiviteten för båda maskiner. Triangeln pekar på produktionsmedelvärde vid föreliggande studie.

Figure 12. The net cost per ha for the whole Vimek machine concept at 1600 workplace hours per year as a function of work place productivity for both machines. The triangle points at the mean productivity of present study.

Likväl finns det flera andra faktorer som påverkar maskinkostnaden utöver dess produktivitet, exempelvis maskinens årliga systemtid. Om systemtiden exempelvis ökas till 2000 tim/år, istället för de 1600 som förutsatts i den ekonomiska analysen, så minskas hektarkostnaden med ca 6%.

4.5 Bioenergiröjarens utvecklingspotential

Vimekmaskinen som studien genomförts på kan nästan klassas som en prototyp, då den är endast en av de tre första som tillverkades av Vimek. I dagsläget bygger Vimek en starkare och tyngre version av 404R kallad 404T. Denna nya Vimek 404T med en starkare Kubotamotor på 44 kW och ett hydraulflöde på 125 L/min skulle kanske kunna halvera tiden för arbetsmomentet kran ut. Kranarbetet tog ca 50 % av tiden så en starkare hydraulik skulle nog hjälpa till att förbättra produktiviteten. Med en halverad kran ut-tid minskar den totala tidsåtgången med 13,6 % och den genomsnittliga produktiviteten ökar till 1,14 ton TS/G₀-tim. I parcell 2, där den maximala produktiviteten noterades, skulle en halvering av kran ut-tiden resultera i en produktivitet på 1,68 ton TS/G₀-tim.

Vimek hade redan byggt på en ackumulerande arm på Naarva-Grip aggregatet, men frågan är om inte aggregatet borde ha två ackumulerande armar. Två armar skulle underlätta att ackumulera flera stammar oftare och reducera kranförflyttningstiden och antalet tappade träd.

4.6 Utveckling av arbetsmetoder

Entreprenören har tänkt köra sin Vimek 404R och 606T på uppdrag åt kraftbolag, privatskogsägare och skogsbolag. Åt kraftbolag bottenröjer entreprenören kraftledningarna och kring kraftdammar, varvid maskinsystemet lämpar sig väl. Men för att skapa ett lönsammare maskinsystem för selektiv röjning av ungskog och kunna locka de stora skogsbolagen måste produktiviteten jämfört med denna studie öka och arbetssättet effektiviseras. Förarens erfarenhet av maskinsystem och arbetsmetoder har stor inverkan på resultatet (Gullberg et al. 1998). Då beståndet i studien var entreprenörens första där han bioenergiröjde selektivt kan man anta att ökad erfarenhet kommer att resultera i effektiviseringsvinster av sig själv. Nedanför följer ett antal funderingar och konkreta förslag som ytterligare skulle kunna bidra till ett produktivare arbete.

Entreprenören borde nog vara lite mer noggrann med urvalet av bestånd att arbeta i. Medeldiametern i föreliggande studie låg på 4,6 cm Dbh före åtgärd. I Eriksson & Nordén (1999) uttrycktes tveksamhet av kostnadsskäl till bioenergiröjning i bestånd med klenare medelDbh än 5 cm. Endast parcell 1 och 7 hade en medeldiameter strax över 5 cm. Ekonomiskt sett borde endast bestånd likt parcell 1 eller 7, de med en grövre medeldiameter och en medelhöjd över 7 meter, bioenergiröjas. Tidsåtgången för Vimekmaskinen var i medeltal 47,6 G₀-tim/ha för parcell 1 och 7 vilket är nästan 18 % snabbare än medeltidsåtgången för alla sju parceller tillsammans. Bioenergiröjning kan ju likställas med vanlig gallring där medelstammen är helt avgörande för gallringsekonomin. Därför är det nog lönsamt för bioenergientreprenörer att försöka arbeta i bestånd med så hög medelstam som möjligt.

I Liss (1999) påpekas också möjligheten till prestationsvinster vid mekaniserad skörd av större röstammar i kombination med motormanuell röstning av de klenaste stammarna (under 2,5 cm Dbh). I de fall som de klenaste träden avverkas maskinellt i samma klipp som ett större träd skall det naturligtvis ske eftersom det innebär försumbar extra tidsbelastning (Gullberg et al. 1998). Men om det finns många utspridda klena träd, och om entreprenören är mån om att göra ett för ögat snyggt arbete, blir det dyrt att skörda dem maskinellt. Det är troligt att merparten av de klena träden inom ganska kort tid självdör om de lämnas på rot (Liss 1999). Gullberg et al. (1998) redovisade att den mängd biomassa som 74 klena träd (<2,5 cm Dbh) innehåller är mindre än ett enda träd med 11 cm Dbh. Därmed kan man fundera om inte det blir ekonomiskt fördelaktigt att börja ”förröja” eller ”hyggesrensa” i eftersatta röstningar.

Om ett mer geometriskt arbetsmönster används lär man också få betydande produktionsvinster. Ompositioneringen minskar och röstningsarbetet blir mentalt enklare för maskinföraren. Då Vimekmaskinen endast är 1,8 m bred passar maskinen in mellan två huvudstammar och därför lär geometrisk röstning inte behöva innebära några betydande produktionsförluster. Stamfördelning och antal huvudstammar efter röstning i stråk bedöms fullt tillräcklig för att bilda framtida slutavverkningsbestånd av god kvalitet (Bergkvist & Glöde 2004). Att stråkröstning har potential indikeras av Bergkvist & Nordén (2004).

I likhet med det geometriska körmönstret har Liss pekat på produktivitetshöjningar om även kranen arbetar geometriskt. I Liss (1999) jämfördes geometrisk flerträdshanterande röstning med kran och selektiv flerträdshanterande röstning med kran. Studiens resultat visade att ca 10 % fler stammar per G₀-timme kan avverkas om kranen arbetar geometriskt istället för selektivt.

I en artikel av Bergström et al. (2007) har selektivt kranarbete och korridorkranarbete i ett eftersatt röstningsbestånd simulerats. Korridorkranarbete innebär att alla träd inom en area skördas då kranen antingen skjuts ut från eller dras in mot maskinen. Detta innebär att föraren inte har någon valmöjlighet att spara individuella stammar inom den korridoren som kran avverkar men att kranarbetet blir mer rationellt. Att avverka i korridorer innebär också att avverkningsmaskinens ineffektiva backande och trixande (ompositionering) blir mindre. Simuleringen visade att en högeffektiv korridoravverkning (där man kan avverka ett obegränsat antal stammar upp till en för kranen maximal massa) skulle kunna prestera ca 2,4 gånger högre än selektiva ackumulerande klippaggregat likt Naarva-Grip. I dag finns redan ett aggregat som till viss mån möjliggör korridorhuggnig i praktiken. Detta är Bräckes C16a-aggregat som utvecklades år 2005 utifrån jämtländska Olle Hemmingsons Røjarskiva. Aggregatet ger möjligheten att ackumulerande skörda de stammar som överstiger en viss diameter medan de klenare stammarna (som inte innehåller nog med biomassa för att göra skörden lönsam) röjs bort. Aggregatet avskiljer stammarna med en kedja monterad på en skiva som skjuts fram när aggregatet anlägger en stam. Massan på aggregatet är 450 kg (www.brackeforest.com).

I föreliggande studie klipptes träden först på mitten när de var längre än 7 m. Kanske skulle man kunna undvika denna produktivitetssänkande manöver om körmönstret, och därmed också skotningen, hade skett i raka stråk. Om skotaren endast kör rakt fram och inte måste svänga och vända inom beståndet skulle långa släpande stammar lättare forslas ut.

För att öka skördarens produktivitet skulle entreprenören ha kunnat lämna fler högar som innehöll ett färre antal stammar. Detta skulle reducera Vimekskördarens kranarbete då det

under tidsstudien ofta observerades att trädknippar släpades förbi prima ”travningsplatser” och lades på den motsatta sidan av maskinen endast för att skapa större högar. I föreliggande studie låg det i medeltal 25 stammar per hög medan i Kärhä et al. (2005) var genomsnittet i det eftersatt röjningsbeståndet endast 8 st per hög. Följden av flera mindre högar blir nog ett ökat kranarbete för den efterföljande skotaren. Men detta borde rimligen kompenseras genom den billigare timkostnaden för en Vimek 606 skotare.

Ett förslag till att förbättra skördarproduktiviteten från Eriksson & Nordén (1999) var att skotaren kunde ha en gripsåg för att kapa stammar till lagom längd. Det skulle innebära att skördaren slipper klippa de långa stammarna i hälften för skotarens skull. Då Kärhä et al. (2005) i sin rapport redovisar att ”aptering” av stammarna till 5 m skotningsbehändiga längder tog i genomsnitt 15 % av skördarens tid kan det finnas produktionsvinster med detta arbetssätt. Detta bekräftas också av Adolfséns (2006) artikel där det nämns att Sveaskogs entreprenörer använder skotare med gripsåg. Några nackdelar med detta arbetssätt blir i så fall en tyngre och dyrare skotargrip samt en lägre skotarproduktion. Om det blir någon total produktionsvinst för maskinsystemet lämnas dock osagt, särskilt då skördarens hantering av upp till 12 m långa stammar kanske även försämrar skördarens produktivitet. Emellertid har också Vimek under år 2006 gjort skotaraptering möjligt genom lansering av den s.k. Biocombi-skotaren. Denna 606 med en Nisula 150E-klippgrip skiljer sig endast från en vanlig 606 skotare genom sitt aggregat som kan klippa av stammar upp till 15 cm i diameter och är 50 kg tyngre än standardgripen (Nilsson 2006, pers. meddel).

Några generella nackdelar för ungskogsbestånd med bioenergiröjning jämfört med traditionell motormanuell röjning är följande: många skadade huvudstammar, framtida tillväxtförluster vid uttag av röjstammar och tidvis dålig kvalitet på huvudstammarna då föraren ej ser stammen klart med kranen fem m bort (fullt utskjuten). För vissa markägare kan dessa övriga nackdelar vara tillräckliga starka för att diskvalificera bioenergiröjning även om maskinsystemets framtida produktivitet ökar så pass att det blir ekonomiskt lönsamt med åtgärden.

Då efterfrågan på skoglig bioenergi i Sverige torde öka inom de nästa åren, bör maskinsystemet ha en nisch att fylla i skogsbruket. Intresset för Håkan Larssons maskinsystem är stort och han har demonstrerat konceptet åt många entreprenörer och skogstjänstemän. En uppföljningsstudie på den nya Vimek 404T i ett grövre bestånd med ett mer geometriskt arbetsmönster torde kunna ge prestationsmässigt betydligt bättre resultat. Också av intresse skulle vara en studie av en lätt röjningsmaskin med ett aggregat likt röjarskivan där man inte behöver ödsla kranarbete på de klenaste stammarna.

4.7 Slutsatser

- Tidsåtgången för Vimek 404R i det eftersatta röjningsbeståndet blev väldigt hög, under de bästa förhållanden ca 43 G₀-tim/ha
- Det finns mycket biomassa att skörda i eftersatta röjningsbestånd, i detta bestånd ca 56 ton TS/ha till ett värde av 18000 kr/ha vid ett pris på 324 kr/ton TS.
- Åtgärden skadade på något sätt ca 25 % av de kvarlämnade stammarna, vilket kan anses som högt
- Maskinell bioenergiröjning har stor utvecklingspotential om mera geometriska arbetsmönster med maskin och kran tillämpas

REFERENSER

- Adolfsén, T. 2006. Ett klipp för biobränsle – avverkning med klippaggregat lönsamt även i hopplösa bestånd. Föreningen Skogen, Stockholm. Tidningen Skogen nr 9/06. s 42.
- Anon. 1985. Gallringsmallar –Norra Sverige. Skogsstyrelsen. Jönköping.
- Anon. 2002. Grundmaterialet från Riksskogstaxeringen till SUS 2001- Skogsvårdsorganisationens utredning av skogspolitikens effekter. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Anon. 2006. Fältinstruktion 2006 för Riksinventeringen av skog. Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik, SLU, Umeå.
- Berg, S. 1983. Terrängtypschema för skogsarbete. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Kista.
- Bergkvist, I. 2006. Praktisk uppföljning visar att stråkröjning har stor potential. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 2.
- Bergkvist, I. & Glöde, D. 2004. Stråkröjning – en metod med stor potential. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 3.
- Bergkvist, I., Johansson, F. & Glöde, D. 2004. Tredje generationens röjningsteknik. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport nr 566.
- Bergkvist, I. & Nordén, B. 2004. Stråkröjning billigare och effektivare än selektiv röjning. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 20.
- Bergstrand, K-G., Lindman, J. & Petré, E. 1986. Underlag för prestationsmål för motormanuell röjning. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Spånga. Redogörelse nr 7.
- Bergström, D., Bergsten, U., Nordfjell, T. & Lundmark, T. 2007. Simulation of geometric thinning systems and their time requirements for young forests. Silva Fennica. In press.
- Blom, P. 1999. Prestationsstudie av EnHar ackumulerande klippskördaraggregat. Avdelning för skogsteknologi, SLU, Umeå. Studentuppsatser nr 21.
- Clasesson, S., Sahlén, K. & Lundmark, T. 2001. Functions for Biomass Estimation of Young Pinus sylvestris, Picea abies and Betula spp. from Stands in Northern Sweden with High Densities. Scand. Jour. For. Res. vol 16. no 2. s 138-146.
- Eriksson, P. & Nordén, B. 1999. Bränsleuttag i bestånd med eftersatt röjning. SkogForsk, Uppsala. Resultat nr 7.
- Glöde, D. & Bergkvist, I. 2004. Klena ungskogar, kraftfulla åtgärder – en översikt av verktyg för effektivare röjning. SkogForsk, Uppsala. Redogörelse nr 1.
- Granö, U-P. 2006. Bioenergi från skogsprodukter – FinnMetko 2006. Chydenius-institutet, Jyväskylä universitet, Karleby. Informationsblad 106.

- Gullberg, T., Johansson, J. & Liss, J-E. 1998. Studie av system EnHar vid uttag av skogsenergi i unga bestånd – Hamrestudien. Högskolan Dalarna, Skogsindustriella Institutionen, Garpenberg. Arbetsdokument nr 9. 24 s.
- Hammar, C-H. 2000. Timberjack 720 – Ett maskinsystem för uttag av biobränsle ur ungskog. Skogsmästarskolan, SLU, Skinnskatteberg. Examensarbete nr 13.
- Håkansson, M. 1994. Praktisk Skogshandbok. Sveriges skogsvårdsförbund. Djursholm.
- Kuitto, P-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oiljala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Mechanized cutting and forest haulage. Tiedotus Metsäteho, Helsingfors. Report 410, 47 pp. ISBN 951-673-139-2.
- Kärhä, K., Jouhiaho, A., Mutikainen, A. & Mattila, S. 2005. Mechanized Energy Wood Harvesting from Early Thinnings. Int. Jour. For. Eng. vol. 16. no 1. s 15-26.
- Ligné, D. 2004. New technical and alternative silvicultural approaches to pre-commercial thinning. SLU. Avhandling. Acta Universitatis agriculturae Sueciae, Silvestria: 331.
- Liss, J-E. 1999. Studie av system EnHar vid uttag av skogsenergi i unga bestånd –L:a Främsbacka. Högskolan Dalarna, Skogsindustriella Institutionen, Garpenberg. Arbetsdokument 8/1999. 28 s.
- Lundstedt, A. & Säterlön, A. 2004. Mekaniserad ungskogsbearbetning för röjning och skörd. Institutionen för skogsskötsel, SLU, Umeå. Examensarbete nr 12.
- Marklund, L-G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Institutionen för skogstaxering, SLU, Umeå. Rapport 45.
- Olsson, S. 2004. Behandling av konfliktbestånd – problem och möjligheter. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU, Alnarp. Examensarbete nr 60.
- Pontén, M. 2005. Potential för lönsamt uttag av GROT inom Holmen Skog i Västerbotten. Institutionen för skogsekonomi, SLU, Umeå. Studentuppsats nr 16.
- Åkerman, L. 2005. Klipparen röjer rent. Sveaskog, Stockholm. Kubiken nr 4:05. s 12-16.
- Örtendahl, A. 2000. Bränsleförbrukning hos småskotaren Vimek 606 D. Avdelningen för skogsteknologi, SLU, Umeå. Studentuppsatser nr 43.

Personliga meddelanden

- Larsson, Håkan. 2006-05-04. Entreprenör. Larssons Entreprenad. Kolviksvägen 3, 777 91 Smedjebacken.
- Lundholm, Bengt. 2006-06-01. Skogsvårdsansvarig. Stora Enso Skog, Ludvika Distrikt, 771 90 Hagge.
- Nilsson, Johannes. 2006-05-30. Konstruktör. Vimek. Slipstensjön 10, 922 92 Vindeln.

Ström, Kjell. 2006-06-02. Driftsansvarig. VB Kraft. Svetsarevägen 4,
771 28 Ludvika.

Webbsidor

www.allanbruks.se 2006-10-10

www.brackeforest.com 2006-10-12

www.pentinpaja.fi. 2006-05-19

www.ponsse.com. 2006-05-19

www.silvaro.se 2006-10-10